

Monitoreo de variables climáticas en la producción del hongo seta (*Pleurotus ostreatus*)

Monitoring of climatic variables in the production of the mushroom fungus (*Pleurotus ostreatus*)

Recepción del artículo: 04/12/2023 • Aceptación para publicación: 24/12/2023 • Publicación: 01/05/2024

● <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi22.343>

Luis Gerardo Ruiz-González

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9055-0353>

Raquel Salazar-Moreno*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6429-3824>

Universidad Autónoma Chapingo. Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Texcoco. Estado de México. México.

María Victoria Gómez-Águila

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9603-2856>

Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Texcoco. Estado de México. México.

*Autor para correspondencia:

rsalazarm@chapingo.mx

Resumen

Los hongos son sensibles a cambios en temperatura y humedad relativa, mantener estas variables en niveles óptimos ayuda a generar mejor calidad, mayores rendimientos, además que puede evitar plagas y enfermedades. Los objetivos de este trabajo es presentar el proceso de producción del hongo seta, monitorear la temperatura y humedad relativa que existe en la nave de producción. Esta investigación se llevó a cabo en una unidad de producción ubicada en Texcoco México, donde se realizaron dos experimentos diferentes, en cada experimento se sembraron seis bolsas con un total de 20 kg de sustrato húmedo. La mayor producción se obtuvo en el experimento dos con 12.89 kg, mientras que en el experimento uno se generó 10.93 kg. Otro aspecto importante en este trabajo es la entalpía. El rango de la entalpía calculada para el experimento uno es de 15 kJ kg⁻¹ a 95.73 kJ kg⁻¹ y para el experimento dos es de 22.27 kJ kg⁻¹ a 88.97 kJ kg⁻¹. Otro objetivo fue conocer los gastos fijos y variables en los que se incurren al producir el hongo seta y determinar algunos indicadores económicos para saber si es rentable la producción de hongo seta a pequeña escala.

Palabras clave: Temperatura, humedad relativa, entalpía, valor presente neto, tasa interna de retorno.

Abstract

Mushrooms are sensitive to changes in temperature and relative humidity, keeping these variables at optimal levels helps to generate better quality, higher yields, and can also prevent pests and diseases. The objectives of this work were to present the production process of the mushroom fungus, monitor the temperature and relative humidity that exists in the production warehouse. This research was carried out in a production unit located in Texcoco Mexico, where two different experiments were carried out, in each experiment six bags were planted with a total of 20 kg of moist substrate. The highest production was obtained in experiment two with 12.89 kg, while in experiment one 10.93 kg was generated. Another important aspect in this work was enthalpy. The range of the calculated enthalpy for experiment one was from 15 kJ kg⁻¹ to 95.73 kJ kg⁻¹ and for experiment two was from 22.27 kJ kg⁻¹ to 88.97 kJ kg⁻¹. Another objective was to know the fixed and variable expenses that are incurred when producing the mushroom and to determine some economic indicators to know if the production of mushrooms on a small scale is profitable.

Keywords: Temperature, relative humidity, enthalpy, net present value, internal rate of return.

Introducción

En México, el sembrado del hongo seta se hace de manera rústica, en inmuebles que no han sido diseñados para la producción; esto quiere decir que las instalaciones no cuentan con un sistema de sensores y aspersores para darle al hongo seta las condiciones óptimas de temperatura y humedad relativa para su crecimiento. Los objetivos de este estudio fue establecer un sistema de producción rústico a pequeña escala del hongo seta a fin de analizar el comportamiento de la temperatura, humedad relativa y calcular la entalpía en diferente época del año, así como evaluar la factibilidad de la producción a pequeña escala.

La producción comercial de hongos comestibles es una actividad relevante en México, desde el punto de vista social, económico y ecológico. México genera alrededor del 59 % de la producción total de Latinoamérica, ubicándose en el lugar 18 como productor a nivel mundial (García *et al.*, 2013). En el año 2021 la superficie cosechada de hongos a nivel nacional fue de 62.22 ha, con un rendimiento de 275,880 kg ha⁻¹. En el Estado de México, la superficie cosechada fue de 20.67 ha con un rendimiento de 96,150 kg ha⁻¹ con un precio medio rural de \$16, 360.4 MXN por 1000 kg (SIAP, 2023).

En México se cultivan cinco especies de hongos con fines comerciales: el champiñón (*Agaricus bisporus*), el portobello (*Agaricus brunnesces*), el hongo seta (*Pleurotus ostreatus*), el hongo blanco (*Tricholoma magnivelare*) y el shiitake (*Lentinus edodes*) (Flores *et al.*, 2012).

El hongo seta puede cultivarse en cualquier espacio; no importa si es rústico o tecnificado; siempre y cuando se cumplan tres condiciones importantes para su desarrollo: higiene en el inmueble, alta humedad relativa y poca luz (Gaitán *et al.*, 2006). El cultivo de los hongos comestibles sobre esquilmos y desechos agroindustriales representa buena alternativa en la obtención rápida de alimentos ricos en proteínas. *Pleurotus ostreatus* y especies afines, las conocidas orejas blancas o de palo o setas, son de amplia aceptación y fácil cultivo (Guzmán *et al.*, 1993). Los sustratos utilizados en el cultivo de hongos tienen efecto sobre las características funcionales, sensoriales y químicas de las setas (Oyetayo y Ariyo, 2013). Los residuos agroindustriales se producen en grandes cantidades, y se pueden convertir en sustrato, para su explotación comercial (Cui *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2012). El uso de diferentes tipos de sustrato para cultivar el hongo depende de su capacidad para secretar enzimas oxidantes (lignina, lacasa y peróxido de manganeso) e hidrolíticos (celulasa, xilanasa

y tanasa) (Rossi *et al.*, 2001; Donini *et al.*, 2009; Luz *et al.*, 2012). La supervivencia y multiplicación de los hongos está relacionada con una serie de factores, que pueden actuar individualmente o tener efectos interactivos entre ellos. Estos factores pueden ser químicos, físicos, biológicos y ambientales, tales como: la composición química, la actividad del agua, la relación de carbono a nitrógeno, los minerales, el pH, la humedad, las fuentes de nitrógeno, el tamaño de las partículas y la cantidad de inóculo, los agentes antimicrobianos y la presencia de interacciones entre microorganismos que están vinculados a la producción de hongos (Eira, 2003). Dentro de los factores ambientales se encuentran la temperatura, la humedad, la luminosidad, la composición del aire del sustrato circundante, la concentración de oxígeno y dióxido de carbono (AMGA, 2004).

Humedad

El agua es uno de los principales factores que influyen en el éxito de crecimiento de hongos. Los nutrientes son transportados desde el micelio a los cuerpos fructíferos por un flujo constante de humedad (Oei y Nieuwenhuijzen, 2005). Alto contenido de humedad en el sustrato dificultará la capacidad para respirar del micelio, inhibiendo la transpiración, haciendo que el desarrollo de la fructificación del cuerpo sea imposible, incluso con cantidades elevadas de inóculo o número de agujeros en los paquetes de cultivo de hongos, lo que resulta en el desarrollo de organismos no deseados como bacterias y nematodos (Urban, 2004). El bajo contenido de humedad relativa puede resultar en la muerte del cuerpo fructífero. El nivel de humedad reduce la porosidad del sustrato, limitando la transferencia de oxígeno, por esta razón, el alto contenido de humedad limita el crecimiento dentro del sustrato, lo que resulta en un crecimiento superficial (Patel *et al.*, 2009). Según Chang y Miles (2004), la humedad relativa adecuada en el sustrato debe oscilar entre 50% y 75%, permitiendo el crecimiento satisfactorio de *Pleurotus spp.* Para la mayoría de los hongos, el rango de humedad relativa es de 20% a 70% (Pandey *et al.*, 2001).

Temperatura

Los principales factores ecológicos que afectan la altura y diámetro del tallo, el tamaño de la cabeza del hongo son la temperatura del aire, humedad, aire fresco y material compacto (AMGA, 2004). El hongo seta puede crecer a temperaturas moderadas, que van de 18 °C a 30 °C (Mejía y Albertó, 2013). De acuerdo con (Ahmed *et al.*, 2013), para el cultivo de *Pleurotus high-king*, *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus geesteranus*, la temperatura de la unidad de producción se mantuvo entre 22 °C y 25 °C.

Del mismo modo, Kim *et al.*, (2013) también cultivaron *Pleurotus eryngii*, con temperaturas en la sala de incubación entre 22 °C y 24 °C. Según Hoa y Wang (2015), la temperatura óptima para *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus cystidiosus* se encontró a 28 °C. Neelam *et al.*, (2013) indicaron que la temperatura óptima para el crecimiento del micelio en el hongo ostra *Pleurotus florida* fue de 25 °C a 30 °C.

Entalpía

La entalpía describe la cantidad de calor contenida en la mezcla de vapor de aire. Se utiliza en los cálculos de calefacción y refrigeración, ya que necesita más energía para subir o bajar la temperatura del aire húmedo que del aire seco. Cuando el aire húmedo se condensa sobre las superficies del invernadero, cede una considerable cantidad de calor debido al calor latente de vaporización. Del mismo modo, cuando el agua se evapora de las superficies, tiene un efecto de enfriamiento en el aire (Greenhouse factsheet, 2015).

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en un inmueble ubicado en Texcoco, Estado de México con las siguientes dimensiones: 3.1 m de largo, 3.2 m de ancho y 2.2 m de alto, tiene muros de tabique, piso firme de concreto, techo de lámina de cartón, y tres ventanas con malla fina para impedir el paso de mosquitos, de la misma manera se les colocó madera para impedir el paso de la luz. Se realizaron dos experimentos cada uno con una duración de 51 días, desde la siembra hasta la última cosecha. La diferencia entre los dos experimentos fue que se aplicaron riegos en el segundo experimento para tratar de mantener la humedad relativa en los rangos óptimos para el crecimiento del hongo seta. La fecha del primer experimento fue del 11 de marzo al 30 de abril y del segundo experimento fue del 14 de mayo al 27 de junio. Se realizaron cuatro cosechas por cada experimento, donde se registró la producción obtenida en cada una de éstas.

Sembrado del hongo seta en el sustrato

Para la siembra del hongo seta fue necesario desinfectar la instalación con agua y cloro. Los materiales utilizados para la siembra fueron: paca de cebada, bolsas de polipapel, micelio, bata, cubre boca, cubre pelo, toallas faciales, masking y despachador, marcador indeleble, cloro, agua, alcohol del 96, jabón y ligas.

La Figura 1 muestra el primer paso en el proceso de siembra y producción del hongo seta, que consiste en eliminar impurezas y microorganismos que puedan

existir en el sustrato que se va a emplear. Esto se logra colocando el sustrato en una bolsa de tela que deje pasar el agua. Posteriormente, se introduce esta bolsa con el sustrato en una arpillera de forma cilíndrica, que a su vez se meterá al tambo de 200 litros para su pasteurización, dejándose remojar 24 horas. Pasadas las 24 horas se drena el tambo donde se encuentra el sustrato. Se deja aproximadamente 20 o 30 litros dentro del tambo y se deja bajo la flama por espacio de una hora hasta que la temperatura en el interior del tambo sea de 80 °C. Se apaga la parrilla y se deja enfriar 24 horas, pasado ese tiempo se puede iniciar la siembra.



Figura 1. Proceso de pasteurización del sustrato.

El espacio de siembra debe estar limpio y desinfectado. Se pone la bolsa de tela con su contenido sobre una mesa, se corrobora que la humedad del sustrato sea la adecuada. El contenido de la bolsa de tela se esparce sobre la mesa. Cuando el sustrato está en la mesa, se coloca una capa de sustrato en la bolsa de polipapel, posteriormente se procede a inocular esta capa con el micelio. Una vez que se ha colocado suficiente micelio sobre la capa, se procede a poner otra capa de sustrato (igual que la anterior), así tapando el micelio. En esta capa, se vuelve a sembrar con el micelio. Este proceso se repite hasta que se ha llenado la bolsa, posteriormente se cierra la bolsa con una liga para que no entre alguna impureza o alguna plaga y pueda contaminarse.



Figura 2. Siembra del micelio en el sustrato y crecimiento del hongo seta.

La Figura 2 muestra este procedimiento que se repite una y otra vez, hasta que se ha acabado el sustrato pasteurizado. El siguiente paso es hacer cuatro aberturas en la bolsa de plástico ya sembrada, a cada abertura se le coloca una toalla facial pegada con masking tape, esta abertura se hace para que entre aire en la bolsa y pueda haber respiración del micelio, sin tener el riesgo de alguna contaminación. Posterior a esto, se colocan las bolsas sembradas en un lugar oscuro con suficiente ventilación por un tiempo aproximado de veinte días, que se conoce como incubación.

Cuando han aparecido los primordios es tiempo de aplicar los riegos para tener las condiciones de humedad relativa óptimas para la producción del hongo seta.

En el inmueble se instalaron seis sensores (hardware libre), la ubicación de los sensores es mostrada en la Figura 3. Estos sensores miden temperatura y humedad relativa del aire cada minuto; los datos obtenidos son enviados al microprocesador Arduino®, el cual se encarga de guardarlos en la memoria SD®. En el tiempo de duración de los dos experimentos, los sensores del sistema registraron lecturas a cada minuto.

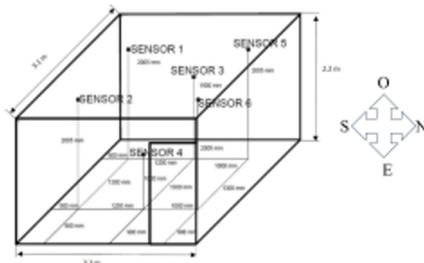


Figura 3. Arreglo de los sensores dentro del inmueble.

La Figura 4 muestra el sistema anterior que tiene los siguientes componentes: microprocesador ARDUINO ATMEGA 2560®, sensores de temperatura y humedad relativa DHT11®, pantalla LCD 16X2®, reloj RTC®, tarjeta de memoria SD®.



Figura 4. Sistema integrado para la adquisición de datos de los sensores.

Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida como activar un motor, encender un LED, publicar algo en línea; utilizando el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring), y el Software Arduino (IDE), basado en Processing (a).

Sensor de temperatura DHT11

El DHT11 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo. Utiliza un sensor de

humedad capacitivo y un termistor para medir el aire circundante y sale una señal digital en el pin de datos (no se necesitan pines de entrada analógica). Se requiere una sincronización cuidadosa para obtener datos. El inconveniente de este sensor es que lee datos enteros (b).

Análisis de los datos obtenidos

Las gráficas de temperatura, humedad relativa y entalpía de los sensores en cada experimento se obtuvieron utilizando el software MATLAB®, a fin de observar y estudiar la distribución y comportamiento de estas variables en el interior de la nave de producción. Con los datos de temperatura y humedad relativa obtenidos de los sensores en los dos experimentos se calculó la entalpía usando la ecuación 1 (Schmidt, 2005).

$$H_0 = C_{PL} \times t_a + X_L(C_{PV} \times t_a + r_0) \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

H_0 = Entalpía (variable que describe la cantidad de calor sensible y latente en el aire) [kJ kg⁻¹].

C_{PL} = Capacidad específica del aire seco [kJ kg⁻¹ K⁻¹].

t_a = Temperatura del aire [°C].

X_L = Contenido de vapor en el aire.

C_{PV} = Capacidad específica del vapor de agua [kJ kg⁻¹ K⁻¹].

r_0 = Calor específico de vaporización del agua [kJ kg⁻¹].

La influencia de la temperatura y la humedad es un caso particular de la psicrometría, la cual es una teoría ampliamente usada para explicar los procesos ambientales. La presencia de vapor de agua en la atmósfera implica desarrollar o adaptar nuevas herramientas para entender, predecir y controlar o adaptarse a las condiciones probables de escenarios futuros de la humedad relativa donde la temperatura puede cambiar en varios grados (Bartzanas *et al.*, 2007).

Indicadores económicos

Valor actual neto

El valor actual neto o valor presente neto, es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en llevar al presente todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. Se calcula con la siguiente ecuación (Cobian, 2012):

$$VAN = \sum_{t=1}^n B_t(1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^n C_t(1+r)^{-t} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

B_t = beneficio en cada período del proyecto.

C_t = costos en cada periodo del proyecto.

r = tasa de actualización entre 100.

$t = (1, 2, \dots, n)$ es el número de años del proyecto hasta llegar a la vida útil del mismo

$(1+r)^t$ = factor de actualización.

El VAN proporciona un elemento de comparación entre las oportunidades de inversión de la compañía. Un proyecto es viable si el $VAN \geq 0$, no producirá ni pérdidas ni ganancias si $VAN=0$ y generará pérdidas si $VAN < 0$ (Cobian, 2012).

Tasa interna de retorno (TIR)

Se denomina tasa interna de rendimiento (TIR) a la tasa de descuento para la que un proyecto de inversión tendría un VAN igual a cero. La TIR, es una medida de la rentabilidad relativa de una inversión, y se expresa en la ecuación (3), e incluye las mismas variables que la ecuación (2) (Cobian, 2012).

$$TIR = \sum_{t=1}^n B_t(1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^n C_t(1+r)^{-t} = 0 \dots \dots \dots (3)$$

La TIR representa la máxima tasa de retorno requerida que la empresa puede y está dispuesta a aceptar para el financiamiento del proyecto sin perder dinero. El criterio de aceptación o rechazo del proyecto se establece en función del valor del indicador, en donde la regla de decisión es el de aceptar todos aquellos proyectos independientes cuya TIR sea igual o mayor a la tasa de actualización seleccionada ($TIR \geq i$) (Charles, 2012).

Relación beneficio costo

La técnica de análisis beneficio costo tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de la rentabilidad de un proyecto (Cobian, 2012). Es el cociente que resulta de dividir la sumatoria del valor actualizado de la corriente de beneficios entre la sumatoria del valor actualizado de la corriente de costos, a una tasa de actualización previamente determinada (Cross, 1996).

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^n B_t(1+r)^{-t}}{\sum_{t=1}^n C_t(1+r)^{-t}} \dots \dots \dots (4)$$

El criterio de aceptación o rechazo del proyecto se establece en función del valor del indicador, la regla de decisión es la de aceptar todos aquellos proyectos independientes cuya relación (B/C) sea igual o mayor a uno ($B/C \geq 1$) (Charles, 2012).

Análisis económico

Para calcular el valor actual neto, la tasa interna de retorno

retorno y la relación beneficio-costos, se usó el software Excel® y los datos obtenidos de producción. Se hacen algunos supuestos: se tienen siete periodos de siembra al año, se pueden sembrar 40 kg de paca húmeda por cada periodo. Flores *et al.*, (2012) menciona que por cada 40 kg de sustrato se obtiene 30 kg de hongo seta. Para el primer año se producirían 25.78 kg de hongo seta, a partir del segundo año 30 kg de hongo seta y cada vez se tendrá mayor experiencia en la siembra, controlando mejor las condiciones climáticas, evitando así plagas y enfermedades. La vida útil del proyecto son cinco años, con una tasa de interés anual de 7.75%.

Resultados

El Cuadro 1 muestra la producción obtenida en cada cosecha de los dos experimentos. Para el primer experimento se obtuvo 11.5% en la primera cosecha, 44.3% en la segunda cosecha, 32.7% en la tercera cosecha y 11.5% en la cuarta cosecha. Para el segundo experimento en la primera cosecha se obtuvo 36.5%, en la segunda cosecha 35%, en la tercera cosecha 6.5% y en la última 22%. La producción obtenida es semejante a la que otros autores han obtenido realizando el mismo experimento. Los autores no mencionan la temperatura y las dimensiones de la unidad de producción del hongo seta. La información del Cuadro 1 muestra la importancia de mantener la humedad relativa entre 65% y 90% valores sugeridos por Flores et al. (2012). La diferencia de dos kilogramos en los dos experimentos se debe a que en el segundo experimento se intentó de controlar la humedad relativa en 85% aplicando riegos frecuentes en la unidad de producción.

Cuadro 1. Comparación de rendimiento y su relación con el rango de humedad relativa en este trabajo y con otros autores.

	Rango de humedad relativa.	Cosecha.				Producción total [kg].
		1	2	3	4	
Experimento 1.	30 % - 95 %	1.26	4.85	3.56	1.26	10.93
Experimento 2.	31 % - 95 %	4.66	4.52	0.84	2.88	12.89
Gautam y Bala (2020).	85 %	12.40	4.80	3.00	0.00	20.20
Muswati <i>et al.</i> , (2021).	85 %	12.92	0.00	0.00	0.00	12.92

La distribución de temperatura y humedad relativa del promedio de los seis sensores en los experimentos 1 y 2 se despliega en la Figura 5. El rectángulo en color magenta representa el rango de temperatura y humedad relativa óptimos para el crecimiento y desarrollo del hongo seta que son 18 °C – 28 °C y 60% – 90% respectivamente (Flores et al., 2012). La temperatura en el experimento 1 osciló entre 9.8 °C y 32.3 °C y en el experimento 2 entre 11 °C y 30 °C. La humedad relativa en el experimento 1 fluctuó entre 30.6% a 93% y en el experimento dos de 34% a 85.8%, la diferencia que existe entre ambos experimentos se debe a que en el experimento 2 se aplicaron riegos para tratar de mantener la humedad relativa en 85%.

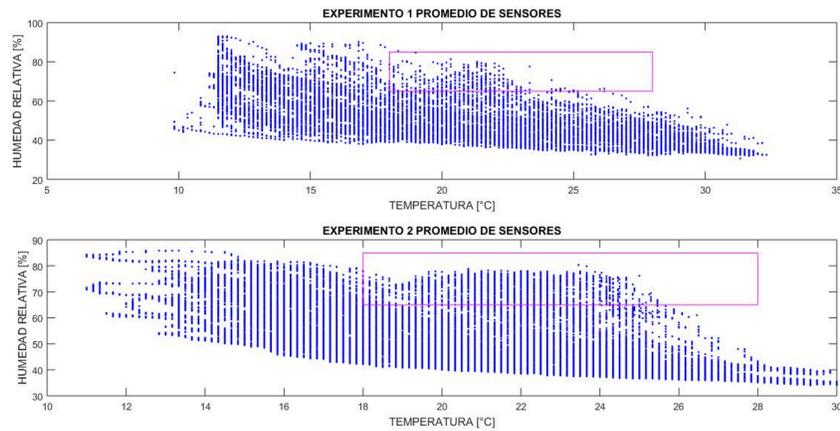


Figura 5. Distribución de temperatura y humedad relativa del promedio de los sensores del experimento 1 y 2.

La entalpía se compone de calor sensible que varía con la temperatura del ambiente y de calor latente que cambia con la cantidad de humedad relativa del ambiente. La entalpía ayuda a diseñar los sistemas de control de temperatura y humedad relativa que existe en los invernaderos. El Cuadro 2 muestra los valores de entalpía calculados para los valores mínimos y máximos de temperatura y humedad relativa registrada por los sensores en los dos experimentos. El experimento 1 tiene 85.7% de valores dentro de los rangos óptimos de entalpía, mientras que en el experimento 2 el 100% de los valores están dentro de dichos valores. Los valores de entalpía para el hongo seta son de 37.34 kJ kg⁻¹ a 63.65 kJ kg⁻¹.

Dentro de la unidad de producción hay diferencias en cuanto a la medición de las variables climatológicas. El sensor 5 fue el que tuvo un mejor comportamiento, en cuanto a variaciones de temperatura y humedad

relativa debido a que estuvo alejado de la puerta, ya que, al abrirla, entra aire y esto influye en la lectura de los sensores. Con la información generada por este sensor se calcularon las variaciones en la entalpía mostrados en la Figura 6; las curvas de esta figura son más suaves y constantes en el experimento 2 debido a la aplicación de riegos para intentar controlar la humedad relativa en 85%.

La Figura 7 muestra la relación que existe entre temperatura, humedad relativa y entalpía del sensor 5 en los experimentos uno y dos, los puntos de color rojo indican la entalpía en la zona de confort del hongo seta asociados a temperatura y humedad relativa. Estos resultados nos indican que se debe poner mayor énfasis en conocer las variables climatológicas a través de la marcha diaria del tiempo, así como en las estaciones del año.

Cuadro 2. Comparación de humedad relativa, temperatura y entalpía en los experimentos 1 y 2.

Sensor.	Exp	Humedad relativa [%].				Temperatura [C].				Entalpía.		
		Mín.	Máx.	Media.	s	Mín.	Máx.	Media.	s	Mín.	Máx.	Media.
1	1	30.0	86.0	40.9	10.3	8.0	34.0	20.3	5.8	15.0	69.3	36.8
	2	31.0	88.0	44.5	12.2	11.0	31.0	20.1	4.3	23.8	75.6	43.9
2	1	30.0	95.0	43.8	12.3	9.0	35.0	20.9	6.6	21.1	95.4	49.2
	2	35.0	87.0	41.9	4.6	12.0	30.0	20.1	4.1	22.3	61.4	37.9
3	1	30.0	95.0	57.5	18.2	10.0	34.0	19.4	5.9	23.0	91.1	44.9
	2	32.0	95.0	61.2	18.1	10.0	29.0	18.6	4.4	26.4	83.1	48.2
4	1	30.0	95.0	60.7	18.5	8.0	35.0	19.6	6.6	15.8	76.8	37.7
	2	34.0	95.0	63.2	16.7	10.0	31.0	19.5	4.6	25.6	89.0	49.7
5	1	30.0	95.0	51.7	14.4	8.0	36.0	20.1	6.0	18.3	94.2	44.3
	2	36.0	95.0	62.8	15.6	10.0	31.0	19.6	4.1	24.5	84.7	47.5
6	1	30.0	95.0	47.3	13.3	7.0	34.0	19.3	6.1	16.2	83.5	41.4
	2	34.0	95.0	49.9	12.7	10.0	30.0	19.2	4.5	23.1	76.1	44.0

Exp=experimento, Mín=miníma, Máx=máxima, s=desviación estándar.

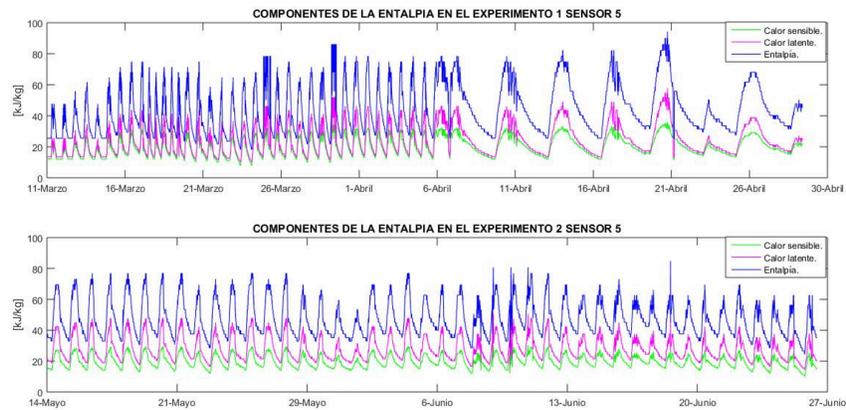


Figura 6. Comportamiento de la entalpia en los experimentos 1 y 2 con datos del sensor 5.

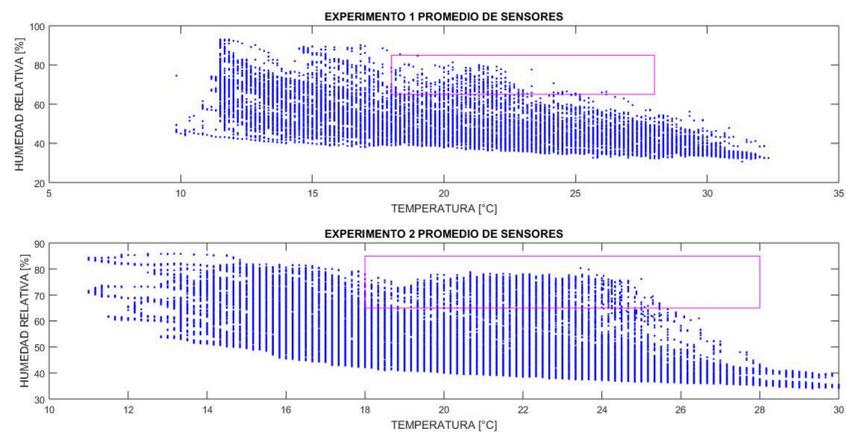


Figura 7. Comportamiento de la temperatura, humedad relativa y entalpia del experimento 1 (izquierda), experimento 2 (derecha) para el sensor 5.

Los costos fijos y costos variables en los que se ha incurrido al producir el hongo seta se presentan en el Cuadro 3 y en el Cuadro 4 respectivamente. Cabe mencionar que no se toma en cuenta los gastos para construir la nave para la producción.

Cuadro 3. Costos fijos para la producción del hongo seta con fecha del 1 de junio del 2023.

Sistema de adquisición de datos.	\$3,351.92
Mueble para hongos.	\$3,564.58
Total.	\$6,916.50

Cuadro 4. Gastos generales para la producción del hongo seta con fecha del 1 de junio del 2023.

Concepto.	Precio unitario.	Cantidad necesaria por siembra.	Siembras anuales.	Importe anual [\$].
Paca de cebada, 20 kilogramos.	\$50.00	2	7	\$700.00
Micelio, dos kilogramos.	\$150.00	2	7	\$2,100.00
Agua y luz.	\$500.00	1	7	\$3,500.00
Gas.	\$100.00	2	7	\$1,400.00
Toallas faciales.	\$50.00	1	7	\$350.00
Bisturí.	\$20.00	1	7	\$140.00
Cubre bocas.	\$10.00	1	7	\$70.00
Cubre pelo.	\$10.00	1	7	\$70.00
Alcohol 96°.	\$100.00	1	7	\$700.00
Masking, ligas, marcador.	\$50.00	1	7	\$350.00
Cloro.	\$40.00	1	7	\$280.00
Jabón.	\$30.00	1	7	\$210.00
Bolsa polipapel 50 X 70 cm.	\$3.00	12	7	\$252.00
Costo total de materias primas.				\$10,122.00

El Cuadro 5 presenta el presupuesto de ingresos por la venta de hongo seta, estos datos fueron obtenidos de los experimentos realizados y en base a algunas suposiciones establecidas en la metodología.

Cuadro 5. Presupuesto de ingresos.

Producto.	Precio por cada kg.	Producción en cada ciclo [kg].	Producción anual [kg].	Ingreso anual.
Hongo seta para el primer año.	80	25.78	180.46	\$14,436.8
Hongo seta para los siguientes años.	80	30	210	\$16,800

El flujo de efectivo por ingresos y egresos desde el año cero hasta el año cinco, que es la vida útil del proyecto, se despliega en el Cuadro 6. Con estos datos se calcula el valor presente neto, la tasa interna de retorno y la relación beneficio-costos.

Cuadro 6. Flujo neto de efectivo.

Concepto/año.	0	1	2	3	4	5
Ingreso por ventas.		\$14,436.8	\$16,800	\$16,800	\$16,800	\$16,800
Costo de producción.		\$1,0122	\$1,0122	\$1,0122	\$1,0122	\$1,0122
Inversión.	\$6,916.5					
Flujo neto de efectivo.	-\$6,916.5	\$4,314.8	\$6,678	\$6,678	\$6,678	\$6,678

El Cuadro 7 muestra los indicadores financieros en los que se incurrieron al sembrar hongo seta a pequeña escala. La producción a pequeña escala es redituable de acuerdo con el valor presente neto, la tasa interna de retorno es muy grande ya que es constante el ingreso por ventas en los años 2, 3, 4 y 5. De esta manera se acepta porque el resultado es mayor que la tasa propuesta de 7.75%. En cuanto a la relación beneficio costo no se acepta el proyecto porque el valor obtenido es menor que 1.

Cuadro 7. Indicadores financieros.

Valor presente neto (VPN).	\$17,730.21
Tasa interna de retorno.	76 %
Relación beneficio costo	0.73

Conclusiones

Se implementó un espacio de 21.85 m³ para producir de manera continua 1 paca de 20 kg de cebada con micelio cada una. Cada paca representa \$1,446.00 MXN en costos variables, los costos fijos fueron de \$6,916.50 MXN. Al terminar el segundo año de producción se habrá recuperado la inversión inicial. La ganancia neta por cada siembra en los años 3, 4 y 5 sería de \$954 MXN para un espacio de 21.85 m³.

El hongo seta requiere de condiciones de higiene y limpieza en cada uno de sus procesos. En los dos experimentos realizados en este trabajo no se detectaron plagas, ni enfermedades. Para poder obtener una mayor producción, se debe contar con un espacio más grande, lo cual requiere de una mayor inversión de capital y personal con experiencia en siembra y cuidado del hongo seta.

Se recomienda que en futuros estudios se controle la temperatura y humedad relativa ya que la mayor parte del tiempo estuvieron fuera del rango recomendado para la producción del hongo seta, y no se obtuvieron rendimientos aceptables, lo cual se ve reflejado en los indicadores económicos.

Las condiciones climáticas en el exterior de un invernadero son cambiantes y no se tiene control sobre éstas, de esta manera, es necesario tener un sistema de riego automático para crear las condiciones óptimas de temperatura y humedad relativa. La entalpía ayudará a diseñar estos sistemas de riego automático.

Literatura citada

- Ahmed, M., Abdullah, N., Ahmed, K.U. y Bhuyan, M.H.M.B. (2013). Yield and nutritional composition of oyster mushroom strains newly introduced in Bangladesh. *Pesq. Agropec. Bras*, 2, 197–202.
- AMGA. (2004). The Australian Mushroom Growers Association (AMGA). <https://australianmushroomgrowers.com.au/>
- Bartzanas, T., Kittas, C. y Sapounas, A. (2007). Analysis of airflow through experimental rural buildings: Sensitivity to turbulence models. *Biosystems Engineering*, 97, 229-239. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.02.009>
- Chang, S.T. y Miles, P.G. (2004). *Mushrooms: Cultivation, Nutritional Value Medicinal Effect and Environmental Impact*. <https://doi.org/10.1201/9780203492086>
- Charles, G.C.J. (2012). *Análisis de la factibilidad técnica, económica y financiera de la producción de hongo seta y su integración a la cadena de valor en la región de Texcoco*. (Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados). Montecillo, Texcoco Estado de México.
- Cobian, R.L. (2012). *Valores críticos para la evaluación de una empresa que inicia (start-up) con opciones reales de crecimiento*. (Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados). Montecillo, Texcoco Estado de México.
- Cross, R. (1996). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. Ed. Limusa, México.
- Cui, J., Goh, K.K.T., Archer, R. y Singh, H. (2007). Characterisation and bioactivity of protein-bound polysaccharides from submerged culture fermentation of *Coriolus versicolor* Wr-74 and ATCC-20545 strains. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol*, 34, 393–402.
- Donini, L.P., Bernardi, E., Minotto, E. y Nascimento, J.S. (2009). Growing Shimeji on elephant grass substrate supplemented with different types of sharps. *Sci. Agraria*, 1, 67–74.
- Eira, A.F. (2003). *Cultivo do cogumelo medicinal*. Editora Aprenda Fácil, Viosa.
- Flores, M. A. y Contreras, T. M. (2012). Manual del cultivo seta (*Pleurotus ostreatus*) de forma artesanal. UNAM. México.
- Gaitán, R., Salmones, D., Pérez, R. y Mata, G. (2006). *Manual práctico del cultivo de setas (aislamiento, siembra y producción)*. Instituto de ecología. Xalapa Veracruz, México.
- García, O. S.X. y Garduño, R. E. A. (2013). *Cultivo doméstico de setas (Pleurotus sp) como alternativa alimentaria*. Primer congreso estudiantil de investigación del sistema incorporado. UNAM.
- Gautam, K.K. y Bala, S. (2020). Harvesting period and yield performance of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on different agrosubstrate, 8(7).
- Guzmán, G., Mata, G. y Salmones, D. (1993). *El cultivo de los hongos comestibles*. IPN. México.
- Greenhouse factsheet. (2015). *Understanding Humidity Control in Greenhouses*. Ministry of Agriculture. British Columbia. Canadá.
- Hoa, H.T. y Wang, C. (2015). The effects of temperature and nutritional conditions on mycelium growth of two oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiology*, 43, 14–23.
- Kim, M.K., Ryu, J., Lee, Y. y Kim, H. (2013). Breeding of a long shelflife strain for commercial cultivation by mono-mono crossing in *Pleurotus eryngii*. *Sci. Hortic*, 162, 265–270.
- Luz, J.M., Nunes, M.D., Paes, S.A., Torres, D.P., Silva, C.S.M. y Kasuya, M.C. (2012). Lignocellulolytic enzyme production of *Pleurotus ostreatus* growth in agroindustrial wastes. *Braz. J. Microbiol*, 43, 1508–1515.
- Mejía, S.J. y Albertó, E. (2013). Heat treatment of wheat straw by immersion in hot water decreases mushroom yield in *Pleurotus ostreatus*. *Ver. Iberoam. Micol*, 30, 125–129.
- Muswati, C., Simango, K., Tapfumaneyi, L., Mutetwa, M. y Ngezimana, W. (2021). The Effects of Different Substrate Combinations on Growth and Yield of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*). Hindawi. International Journal of Agronomy.
- Neelam, S., Chennupati, S. y Singh, S. (2013). Comparative studies on growth parameters and physico-chemical analysis of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus florida*. *Asian J. Plant Sci. Res*, 3(1), 163–169.
- Oei, P. y Nieuwenhuijzen, B.V. (2005). Small scale Mushroom Cultivation: Oyster, Shiitake and Wood Ear Mushrooms. Agromisa Foundation and CTA, Wageningen.
- Oyetayo, V.O. y Ariyo, O.O. (2013). Micro and macronutrient properties of *Pleurotus ostreatus* (Jacq:Fries) cultivated on different wood substrates. *Jordan J. Biol. Sci*, 6, 223–226.
- Pandey, A., Soccol, C.R., Rodríguez-Leon, J.A. y Nigam, P. (2001). *Solid-state Fermentation in Biotechnology: Fundamentals and Applications*. Asiatech Publishers, New Delhi.

- Rossi, I.H., Monteiro, A.C. y Machado, J.O. (2001). Desenvolvimento micelial de *Lentinula edodes* como efeito da profundidade e suplementação do substrato. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36(6), 887–891.
- Schmidh, U. (2005). *Microclimate control in greenhouses based on phytomonitoring data and Mollier phase diagram*. Humboldt University. Institute for Horticultural Sciences. Berlín.
- Gobierno de México. (2013). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*. <https://www.gob.mx/siap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon>
- Silva, S., Martins, S., Karmali, A. y Rosa, E. (2012). Production, purification and characterisation of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* with antitumour activity. *J. Sci. Food Agric*, 92, 1826–1832.
- Urben, A.F. (2004). Produca de cogumelos por meio de tecnologia chinesa modificada. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasilia (in Portuguese).
- Arduino. (2023) *¿Qué es Arduino?* <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Adafruit. (2023). *DHT11 basic temperature-humidity sensor + extras*. <https://www.adafruit.com/product/386>